

В. Е. КАРПУСЬ, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Харків;
О. В. КОТЛЯР, канд. техн. наук, асис., НТУ «ХПІ», Харків.

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ НАЙБІЛЬШ ЕФЕКТИВНОГО МЕТОДУ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

У статті обґрунтований вибір найбільш ефективного методу багатокритеріальної оптимізації технологічних процесів механічної обробки деталей. Проведений порівняльний аналіз результатів вибору оптимального типу токарного верстата, отриманих різними методами багатокритеріальної оптимізації. Розроблені рекомендації щодо вибору найбільш ефективного методу багатокритеріальної оптимізації з урахуванням виробничих умов.

Ключові слова: технологічний процес, багатокритеріальна оптимізація, критерії оптимальності, методи оптимізації.

The article substantiated choice of the most favourable method for multiobjective optimization of machine working details technological process. The result choice lathe optimal type of sundry method multiobjective optimization are proposed. The recommendation choice of the most favourable method for multiobjective optimization are developed.

The key words: technological process, multicriterion optimization, criterions optimization, methods optimization.

В статье обоснован выбор наиболее эффективного метода многокритериальной оптимизации технологических процессов механической обработки деталей. Проведен сравнительный анализ результатов выбора оптимального типа токарного станка, полученных различными методами многокритериальной оптимизации. Разработаны рекомендации, которые касаются выбора наиболее эффективного метода многокритериальной оптимизации с учетом производственных условий.

Ключевые слова: технологический процесс, многокритериальная оптимизация, критерии оптимальности, методы оптимизации.

Важливою проблемою машинобудівних підприємств є забезпечення конкурентоздатності продукції з урахуванням постійно зростаючих вимог до якості виробів та обмеження витрат трудових, матеріальних, фінансових і енергетичних ресурсів. В умовах ринкової економіки оцінку виробничої діяльності підприємства, пов'язану з процесом виготовлення деталі та визначення найвигіднішого технологічного процесу (ТП) слід проводити на підставі багатокритеріальної оптимізації з урахуванням системи критеріїв, яка характеризує організаційно-технологічну структуру машинобудівного виробництва і дозволяє найбільш точно визначити область ефективного застосування технологічного обладнання. Багатокритеріальний вибір оптимальних варіантів ТП механічної обробки деталей дозволить підвищити конкурентоздатність продукції машинобудівних підприємств [1-4]. Метою даної роботи є розробка рекомендацій стосовно вибору найбільш раціонального методу багатокритеріальної оптимізації в залежності від кількості критеріїв оптимальності та виробничих умов.

Багатокритеріальна оптимізація технологічних рішень здійснюється різними методами, а саме: вагових коефіцієнтів, близькості до ідеальної точки; послідовних поступок; нечітких множин; аналізу ієрархій. Вони відрізняються за трудомісткістю та складністю оптимізаційних розрахунків, а також кількістю суб'єктивної інформації, що необхідно отримати від особи або групи осіб, які приймають рішення. Суб'єктивною інформацією є визначення вагомості окремих критеріїв, ранжування критеріїв за значимістю, призначення поступок та ін.

Неоднорідність та неоднакова кількість вихідної інформації, а також різна ступінь складності розрахунків призводять до суперечливості результатів, отриманих різними методами. Тому при виборі методу багатокритеріальної оптимізації ТП слід враховувати його принципові особливості і їх вплив на результат розрахунку.

З метою вибору раціонального методу оптимізації був проведений порівняльний аналіз результатів оптимізації токарних операцій, отриманих різними методами оптимізації. Токарна обробка є найбільш трудомісткою при обробці тіл обертання і відзначається багатоваріантністю, а тому в найбільшій мірі впливає на вибір найвигіднішого варіанту ТП. Дослідження проводилися на прикладі вибору оптимального типу токарного верстата для обробки фланця. Розрахунки здійснювалися з урахування різної кількості типів верстатів, на яких можливе проведення обробки.

В якості критеріїв оптимальності використовувалися показники, які характеризують інтенсифікацію та прибутковість виробництва, ефективність використання енергетичних і фінансових ресурсів та надійність процесу функціонування обладнання і дозволяють об'єктивно уточнити та розширити область ефективного застосування ТП, а саме: інтенсивність формоутворення; інтенсивність маржинального прибутку; постійні витрати, що припадають на виробничу партію деталей; електромісткість прибутку та імовірність виконання виробничого завдання [5].

Інтенсивність формоутворення W_H , мм/хв являє собою фіктивну швидкість розосередженого впливу кінематично або структурно пов'язаних різальних інструментів на заготовку з урахуванням технологічних, конструктивних і експлуатаційних факторів. Цей критерій має ієрархічну структуру, що відповідає структурі технологічної системи та показника «штучна продуктивність».

Інтенсивність маржинального прибутку I_{π} , грн/хв відображає величину одержуваного маржинального прибутку від реалізації продукції, що припадає на одиницю часу, витраченого на її виробництво. Маржинальний прибуток згідно з методом часткового розподілення витрат - система "дірект-костінг" (direct costing), який в останні десятиріччя набув розвитку, визначається різницею між доходом та перемінними витратами, що залежать від обсягу виробництва.

Постійні витрати, що припадають на виробничу партію деталей $S_{\text{п}}$, грн у поєднанні з інтенсивністю маржинального прибутку дозволяють об'єктивно оцінити економічну діяльність підприємства у продовж виконання виробничого завдання.

Електромісткість прибутку $E_{\text{п}}$, кВт/грн визначає відношення витрат електроенергії, спожитої в процесі виготовлення деталі до прибутку, отриманого в результаті її використання.

Імовірність виконання завдання P характеризує надійність процесу функціонування обладнання і дозволяє оцінити стохастичний зв'язок між необхідною та реально досягнутою продуктивністю, а також дозволяє визначити необхідний резерв часу, потрібний для виконання виробничого завдання із заданою імовірністю.

У табл. 1 наведені результати оптимізації, отримані різними методами оптимізації. У таблиці 1 використані такі позначення методів оптимізації: 1-вагових коефіцієнтів; 2 - аналізу ієрархій; 3 - близькості до ідеальної точки; 4 послідовних поступок; 5 - нечітких множин.

Результати розрахунків дозволили виділити дві групи методів, які ґрунтуються на однакових принципах оптимізації та забезпечують однакові результати. До першої групи входять метод вагових коефіцієнтів та аналізу ієрархій, а до другої - методи близькості до ідеальної точки, послідовних поступок і нечітких множин.

Таблиця 1

Визначення оптимального типу токарного верстата різними методами багатокритеріальної оптимізації

Верстат	Величина виробничої партії деталей, шт								
	1	5	10	20	50	100	200	500	1000
Токарно-гвинторізний	○	○	○	○		3	4	5	
Токарний з ЧПК									
Токарно-револьверний				○	○	○	○		
Токарний двошпindelний з ЧПК				○	○	○	○		
Токарний багатшпindelний			1	2				○	○

Слід зазначити, що при величині партії деталей $N_d \leq 5$ шт та $N_d \geq 200$ шт всі методи оптимізації забезпечують однакові результати. Це викликано тим, що токарно-гвинторізний верстат при $N_d \leq 5$ шт, а токарний багатшпindelний напівавтомат при $N_d \geq 200$ шт по всіх критеріях оптимальності переважають інші верстати і їх вибір в якості оптимальних є однозначним. Для величини виробничої партії деталей $5 \leq N_d < 200$, яка характерна для умов багатомономенклатурного виробництва метод оптимізації впливає на вибір найвигіднішого ТП обробки деталі.

Графічні залежності, наведені на рис. 1 – 4 дозволяють наочно проаналізувати особливості визначення оптимального типу токарного верстата різними методами багатокритеріальної оптимізації. Позначення

типів верстатів на рисунках 1 - 4 наступне: 1- токарно-гвинторізний; 2 - токарний з ЧПК; 3 - токарно-револьверний; 4 - токарний двовшиндельний з ЧПК; 5 - токарний багатошпиндельний напівавтомат.

Оптимізація методами близькості до ідеальної точки, послідовних поступок і з використанням теорії нечітких множин базується на принципі гарантованого результату, згідно з яким у оптимального варіанту значення одночасно усіх критеріїв найбільш наближені до оптимальних величин. При оптимізації цими методами найвигіднішим є токарно-револьверний напівавтомат (рис. 3, 4, варіант 3), у якого всі критерії оптимальності приймають середні значення серед конкуруючих варіантів.

Оптимізація методом вагових коефіцієнтів і аналізу ієрархій базується на принципі сумарного впливу, при якому враховується сумарний внесок абсолютних значень кожного критерію. Для даного випадку оптимальним є токарний багатошпиндельний напівавтомат (рис. 1, 2, варіант 5), у якого чотири критерії мають оптимальні значення, а один має одне з найгірших серед можливих варіантів, але тим самим цей варіант забезпечує найбільше сумарне значення критеріїв. Враховуючи ці особливості методи вагових коефіцієнтів і аналізу ієрархій забезпечують більш об'єктивну оцінку і є найбільш прийнятними для оптимізації ТП обробки деталей.

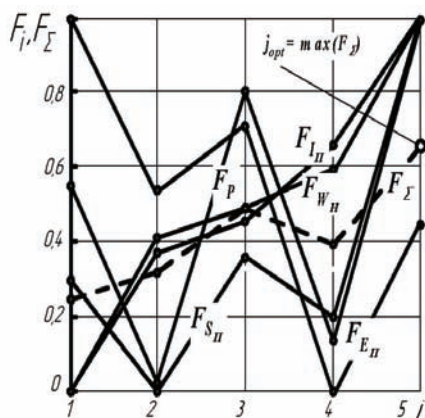


Рис. 1 - Залежність величини локальних (F_i) та узагальнюючого (F_Σ) критеріїв оптимальності для різних типів токарних верстатів при оптимізації методом вагових коефіцієнтів

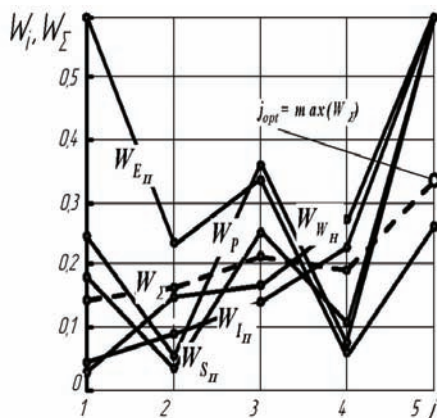


Рис. 2 - Залежність величини локальних (W_i) та глобального (W_Σ) пріоритетів різних типів токарних верстатів при оптимізації методом аналізу ієрархій

Встановлено також, що при наявності не більше трьох конкуруючих варіантів усі методи оптимізації забезпечують однакові результати і вибір

найбільш ефективного з них варто проводити з урахуванням мінімальної складності та трудомісткості розрахунків (табл. 2 - 4).

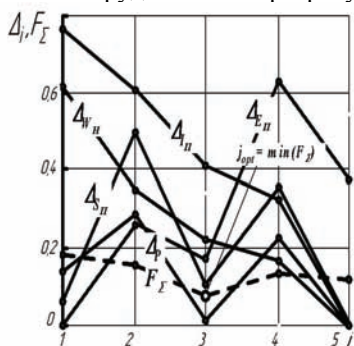


Рис.3 - Залежність величини нормованих різниць (Δ_i) та узагальнюючого критерію (F_Σ) для різних типів токарних верстатів при оптимізації методом близькості до ідеальної точки

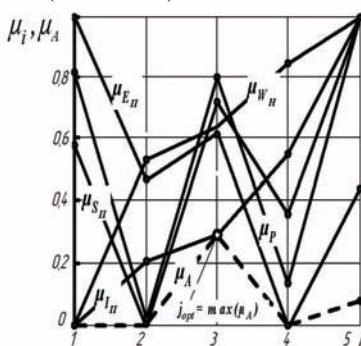


Рис. 4 - Залежність величини функцій приналежності для різних типів токарних верстатів при оптимізації методом нечітких множин

У таблицях 2 – 4 використані такі позначення методів оптимізації: 1 - вагових коефіцієнтів; 2 – аналізу ієрархій; 3 – близькості до ідеальної точки; 4 – послідовних поступок; 5 – нечітких множин.

Таблиця 2

Визначення оптимального типу токарного верстата різними методами багатокритеріальної оптимізації

Верстат	Величина виробничої партії деталей, шт								
	1	5	10	20	50	100	200	500	1000
Токарно-гвинторізний	1	1	1	1	3	4	5		
Токарний з ЧПК			1	2	1	1	1	1	1
Токарно-револьверний									

Таблиця 3

Визначення оптимального типу токарного верстата різними методами багатокритеріальної оптимізації

Верстат	Величина виробничої партії деталей, шт								
	1	5	10	20	50	100	200	500	1000
Токарно-гвинторізний	1	1	1	1	1	3	4	5	
Токарний з ЧПК			1	2	1	1	1	1	1
Токарний двовиндильний з ЧПК									

Були також проведені дослідження результатів вибору найвигіднішого типу токарного верстата з використанням тільки деяких критеріїв оптимальності із запропонованої системи критеріїв, які дали змогу

встановити, що збільшення числа критеріїв об'єктивно розширює межі ефективного застосування ТП і дозволяє уточнити граничні значення величини виробничої партії деталей, які визначають найвигідніший варіант ТП обробки деталі.

Таблиця 4

Визначення оптимального типу токарного верстата різними методами
багатокритеріальної оптимізації

Верстат	Величина виробничої партії деталей, шт								
	1	5	10	20	50	100	200	500	1000
Токарно-звинторізний	○	○	○	○	○	3	4	5	
Токарно-револьверний	1	2	○	○	○	○	○	○	○

Таким чином, при багатокритеріальній оптимізації технологічних процесів механічної обробки деталей, у випадку, коли вихідні дані параметрів математичних моделей мають умовно детермінований характер, варто застосовувати метод вагових коефіцієнтів. При стохастичному характері вихідних даних і наявності не більше трьох конкуруючих варіантів технологічного процесу доцільно застосовувати метод з використанням теорії нечітких множин, а при наявності більше трьох конкуруючих варіантів - метод аналізу ієрархій.

Список літератури: 1. Антушев Г.С. Методы параметрического синтеза сложных технических систем. – М.: Наука, 1989. – 88 с. 2. Хмеловский Г. Л. Основы автоматизации технологического проектирования / Хмеловский Г. Л., Кроль О. С., Сурнин Ю. М. – К.: УМК ВО, 1989. – 188 с. 3. Перегудов Ф. И. Введение в системный анализ: учеб. пособие / Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасенко. – М.: Высш. шк., 1989. – 367 с. 4. Коткин Г.Г. Системный анализ: оптимизация и принятие решений в механообработке / Г.Г. Коткин, В.С. Гузенко, А.Л. Еськов и др.; под ред. В.С. Гузенко. – Краматорск: ДГМА, 1998. - 234 с. 5. Карпуть В.С. Вибір найвигідніших варіантів технологічних систем обробки деталей типу фланцю / В. С. Карпуть, О. В. Котляр, Ф. Г. Богасенко // Резание и инструмент в технологических системах : междунар. научно-техн. сб. – Харьков : НТУ “ХПИ”, 2009. – Вип. 77. – С. 77–86.

Надійшла до редколегії 31.05. 2011